

Uji kandungan logam berat pada budidaya rumput laut *Eucheuma cottonii* di Nusa Lembongan serta analisis resiko kesehatan manusia

Examination of heavy metal content in the cultivation of *Eucheuma cottonii* seaweed in Nusa Lembongan and evaluation of health risks for humans

I Made Gde Sudyadnyana Sandhika^{1,2*}, Putu Angga Wiradana^{1,2}, I Wayan Rosiana^{1,2}, I Gede Widhiantara^{1,2}, Anak Agung Ayu Putri Permatasari^{1,2}, Ni Kadek Yunita Sari^{1,2}, I Made Wisnu Adhi Putra¹, Ni Luh Utari Sumadewi³, Ni Putu Eny Sulistyadewi⁴

¹Program Studi Biologi, Fakultas Kesehatan dan Sains, Universitas Dhyana Pura, Dalung, Kuta Utara, Badung, Bali, Indonesia – 80361.

²Grup Riset Biologi Kesehatan, Fakultas Kesehatan dan Sains, Universitas Dhyana Pura, Dalung, Kuta Utara, Badung, Bali, Indonesia – 80361.

³Program Studi Kesehatan Masyarakat, Fakultas Kesehatan dan Sains, Universitas Dhyana Pura, Dalung, Kuta Utara, Badung, Bali, Indonesia – 80361.

⁴Program Studi Gizi, Fakultas Kesehatan dan Sains, Universitas Dhyana Pura, Dalung, Kuta Utara, Badung, Bali, Indonesia – 80361.

*Email: sandhika@undhirabali.ac.id

Diterima
20 Oktober 2024

Disetujui
11 Desember 2024

INTISARI

Rumput laut *Eucheuma cottonii* dikenal sebagai salah satu agen hayati yang potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku herbal di bidang kesehatan, bahan baku industri kosmetik dan sebagai sektor pangan fungsional. Keamanan bahan baku herbal yang akan digunakan terutama dalam bidang kesehatan dan pangan haruslah bebas dari segala macam bahan pencemar terutama logam berat (Pb, Cd, dan As). Logam berat telah menjadi ancaman yang sangat serius bagi ekosistem dan kesehatan masyarakat karena mampu mempengaruhi rantai makanan (*food chain*). Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* di kawasan budidaya rumput laut Nusa Lembongan serta menghitung resiko kesehatan yang ditimbulkan terhadap manusia jika mengkonsumsinya. Konsentrasi logam berat Pb, Cd dan As yang terkandung dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* di Nusa Lembongan secara berurutan yaitu; $1,2824 \pm 0,4626$ ppm, $0,0429 \pm 0,0250$ ppm, dan $0,0006 \pm 0,0005$ ppm. Nilai estimasi asupan harian (EDI), mingguan (EWI), tingkat bahaya (THQ) dan risiko kanker (TCR) logam arsenik diperoleh dengan mengkaitkan logam berat yang terkandung dalam rumput laut *Eucheuma cottonii*. Nilai EDI, EWI dan THQ yang didapatkan tidak menunjukkan tingkat bahaya bagi manusia jika mengkonsumsinya. Nilai TCR logam arsenik juga menunjukkan tingkat resiko kanker yang ditimbulkan rendah sehingga rumput laut *Eucheuma cottonii* di kawasan budidaya rumput laut Nusa Lembongan aman jika dimanfaatkan dan tidak ada bahaya kesehatan kronis yang terjadi dengan konsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii* ini.

Kata kunci: *Eucheuma cottonii*, logam berat, Nusa Lembongan, risiko kesehatan, rumput laut

ABSTRACT

Eucheuma cottonii seaweed is known as a potential biological agent to be developed as a herbal raw material in the health sector, raw material for the cosmetic industry and as a functional food sector. The safety of herbal raw materials to be used, especially in the health and food sectors, must be free from all kinds of contaminants, especially heavy metals (Pb, Cd and As). Heavy metals have become a very serious threat to ecosystems and public health because they are able

to affect the food chain. The purpose of this study was to determine the content of heavy metals in *Euचेuma cottonii* seaweed in the Nusa Lembongan seaweed cultivation area and to calculate the health risks posed to humans if consumed. The concentrations of heavy metals Pb, Cd and As contained in the seaweed *Euचेuma cottonii* in Nusa Lembongan are respectively; $1,2824 \pm 0,4626$ ppm, $0,0429 \pm 0,0250$ ppm, dan $0,0006 \pm 0,0005$ ppm. The estimated daily intake (EDI), estimated weekly intake (EWI), target hazard quotient (THQ), and target cancer risk (TCR) for arsenic values were obtained by correlating the heavy metal content in *Euचेuma cottonii* seaweed. The EDI, EWI and THQ values obtained do not indicate a dangerous level for humans if they consume *Euचेuma cottonii* seaweed. The TCR value of arsenic metal also shows that the risk of cancer is low so that *Euचेuma cottonii* seaweed in the Nusa Lembongan seaweed cultivation area is safe if used and consumption of *Euचेuma cottonii* seaweed does not pose any long-term health risks.

Keywords: *Euचेuma cottonii*, heavy metal, Nusa Lembongan, health risk, seaweed

PENDAHULUAN

Alga atau yang dikenal oleh masyarakat umum sebagai rumput laut, merupakan salah satu komoditas utama dalam sektor ekspor. Komoditas ini memiliki potensi besar untuk mendukung pemulihan sektor perikanan yang menjanjikan. Selain itu, rumput laut tersebar luas di hampir seluruh wilayah pesisir perairan Indonesia (Rimmer et al., 2021). Rumput laut juga menjadi salah satu komoditas utama dari sumberdaya perairan karena kemampuannya yang mudah untuk dibudidayakan, memiliki nilai ekonomi yang signifikan, dan biaya produksi yang minim (Khan et al., 2024). Rumput laut juga memiliki potensi sebagai bahan baku dalam sektor kesehatan, farmasi dan pangan karena mengandung berbagai mineral, unsur makro, dan unsur mikro lainnya yang bermanfaat bagi fungsi tubuh, seperti iodin, kalsium, dan selenium (Circuncis o et al., 2018; El-Beltagi et al., 2022). Di negara seperti Jepang dan Korea Selatan, rumput laut dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam suplemen makanan sehingga didapatkan manfaat dari unsur rumput laut seperti mineral alami (Hwang et al., 2019).

Konsumsi dan produksi rumput laut umumnya telah tercatat di Indonesia (Rimmer et al., 2021). Nusa Lembongan yang termasuk dalam wilayah Provinsi Bali, merupakan salah satu daerah yang telah melakukan budidaya rumput laut (Andr efou et et al., 2021). Pulau Nusa Lembongan terletak di sebelah tenggara Pulau Bali dan masuk ke dalam Kecamatan Nusa Penida, Kabupaten Klungkung. Di Nusa Lembongan terdapat 17 kelompok petani rumput laut dan setiap kelompok memiliki anggota 20 – 50 orang. Nusa Lembongan merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi untuk mengembangkan budidaya rumput laut sebagai sumber pendapatan masyarakat lokal dan kontribusi terhadap ketahanan pangan (Waruwu et al., 2022; Watiniasih et al., 2022). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nashrullah et al., (2021), rumput laut jenis *Euचेuma cottonii* atau nama lainnya *Kappaphycus alvarezii* saat ini banyak dibudidayakan di daerah Nusa Lembongan. *Euचेuma cottonii* termasuk dalam spesies dari alga merah atau *Rhodophyceae* yang menghasilkan keraginan jenis kappa yang bisa digunakan dalam industri tekstil, obat-obatan, kosmetik dan makanan (Nurani et al., 2024). *Euचेuma cottonii* memiliki kandungan karbohidrat, lemak, protein, vitamin A dan C, mineral serta α tokoferol (Wardani et al., 2017). Keraginan dari rumput laut ini juga banyak dimanfaatkan dalam bahan baku produksi kosmetik seperti krim tabir surya, sabun dan losion (Shafie et al., 2022).

Salah satu dari kemampuan lain yang dimiliki oleh rumput laut adalah berfungsi sebagai biofilter yang mampu menyerap senyawa-senyawa di dalam perairan seperti senyawa anorganik, bahan organik terlarut, karbon dioksida dan logam berat (Arumugam et al., 2018; Cahill et al., 2010). Rumput laut memiliki

kemampuan untuk menyerap senyawa-senyawa yang ada di perairan melalui gugus fungsional yang ada pada permukaan dalam selnya (Sandhika et al., 2023). Hal ini memungkinkan rumput laut untuk berinteraksi dengan senyawa-senyawa tertentu, termasuk logam berat (Parus & Karbowska, 2020). Kemampuan yang dimiliki rumput laut ini dapat digunakan sebagai bioindikator perairan untuk mengetahui kualitas suatu badan perairan laut. Dalam penelitian Malau et al., (2018) dijelaskan bahwa rumput laut *Sargassum sp* mampu menyerap logam berat timbal yang terdapat di perairan.

Logam berat merupakan salah satu jenis polutan utama yang dapat merusak ekosistem perairan dan berdampak negatif pada organisme yang hidup di dalamnya, termasuk manusia (Oktariani et al., 2023; Wasilah et al., 2021). Logam berat seperti kadmium, timbal, dan arsen merupakan polutan yang dapat membahayakan lingkungan perairan dan ekosistemnya serta kesehatan manusia (Mitra et al., 2022). Logam berat merupakan ancaman yang sangat serius dibandingkan dengan bahan pencemar lainnya, terutama pada biota yang mencernanya dikarenakan dapat terakumulasi dalam jaringan tumbuhan perairan salah satunya rumput laut dan menciptakan risiko kesehatan seperti kanker bagi manusia yang mengonsumsinya dalam jangka panjang serta merusak ekosistem laut secara keseluruhan (Chen et al., 2018; Wu et al., 2022).

Karena pentingnya pemanfaatan rumput laut *Eucheuma cottonii*, diperlukan pengujian terhadap keberadaan kontaminan, khususnya logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As), yang bersifat beracun dan dapat merugikan organisme hidup serta lingkungan. Sampai saat ini belum ditemukan penelitian yang terkait dengan uji kandungan logam berat pada budidaya rumput laut *Eucheuma cottonii* di Nusa Lembongan serta analisis risiko kesehatan terhadap manusia. Hasil analisis kandungan logam berat pada rumput laut *Eucheuma cottonii* ini akan dibandingkan dengan baku mutu terkait obat herbal yang ditetapkan oleh Peraturan BPOM atau Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 32 Tahun 2019 dan risiko konsumsi berdasarkan ketentuan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO). Penelitian ini penting dilakukan sebagai salah satu upaya mendukung program pemerintah di bidang kesehatan dengan memanfaatkan sumber daya perairan sebagai bahan baku herbal dan industry lainnya. Di sisi lain, juga membantu menjawab tantangan ketahanan pangan dan menyediakan produk *nutraceutical* untuk memenuhi kebutuhan industri makanan, kosmetik dan obat di masa depan, sehingga meningkatkan produktivitas masyarakat pesisir.

MATERI DAN METODE

Lokasi pengambilan sampel

Pengambilan dan pengumpulan sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* dilakukan di tiga lokasi petani rumput laut di wilayah perairan Nusa Lembongan (Gambar 1) yaitu: Site 1 (8°41'40.3"S 115°26'26.8"E), Site 2 (8°41'41.5"S 115°26'37.4"E), dan Site 3 (8°41'54.2"S 115°26'39.8"E). Aktivitas utama di wilayah pengambilan sampel ini adalah budidaya rumput laut serta aktivitas nelayan dalam mencari ikan.

Pengambilan dan preparasi sampel

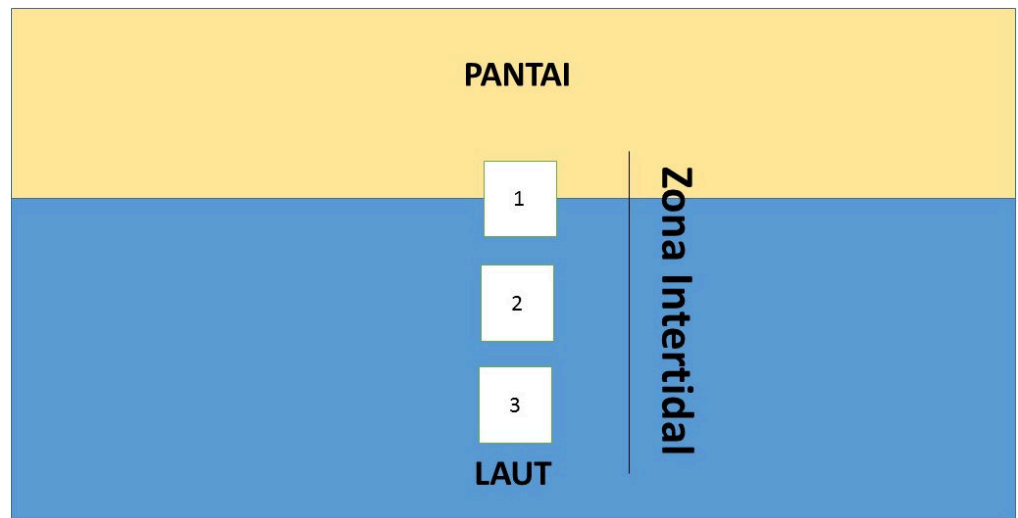
Sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* diambil menggunakan metode *purposive sampling* dengan jumlah titik pengambilan sampel sebanyak tiga lokasi dan dilakukan pada bulan Juli 2023. Sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* dikumpulkan pada kondisi surut terendah pada zona intertidal (Gambar 2). Sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* yang telah dikumpulkan dibersihkan

menggunakan air garam dimasukkan ke dalam plastik *polyethylene* steril dilengkapi dengan label serta lokasi sampling kemudian disimpan dalam *cooler box* (4°C) untuk selanjutnya dibawa ke Laboratorium untuk preparasi dan identifikasi kandungan logam berat.

Sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* yang diperoleh dari lokasi sampling dicuci bersih di bawah air mengalir untuk menghilangkan pasir dan pengotor lainnya. Selanjutnya sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C untuk memperoleh berat yang konsisten (Khaled et al., 2014). Untuk analisis logam berat sampel rumput laut dipreparasi menggunakan metode sesuai dengan prosedur SNI 8910:2021.



Gambar 1. Peta pengambilan sampel di wilayah perairan Nusa Lembongan.
Keterangan: 1, 2, dan 3 merupakan Lokasi pengambilan sampel



Gambar 2. Ilustrasi pengambilan sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* di kawasan perairan Nusa Lembongan

Pengukuran logam berat

Penetapan kadar logam berat dilakukan di Laboratorium Kesehatan Lingkungan Sub Bagian Patologi Klinik, Rumah Sakit Umum Provinsi (RSUP) Sanglah, Denpasar-Bali. Untuk pengukuran kuantitatif logam berat digunakan Metode Standar Nasional Indonesia (SNI) 8910:2021 pada sampel rumput laut *Eucheuma cottonii*. Penentuan kadar logam berat menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA) Shimadzu buatan Jepang model AA-7000. Batas deteksi ketiga logam berat tersebut berdasarkan Peraturan BPOM 32 Tahun 2019 tentang Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Herbal yaitu Cd ($\leq 0,3$ ppm), Pb (≤ 10 ppm), dan As (≤ 5 ppm).

Analisis resiko kesehatan logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii*

Perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI)

Perkiraan asupan harian atau *Estimated Daily Intake* (EDI) dan Perkiraan asupan mingguan atau *Estimated Weekly Intake* (EWI) masing-masing logam berat (Cd, Pb, dan As) dievaluasi menggunakan konsentrasi rata-rata sampel rumput laut dan konsumsi harian dan mingguan dalam gram setiap produk makanan (Muñoz et al., 2017; Rosiana et al., 2022). Perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI) dihitung menggunakan persamaan berikut untuk menentukan batas harian konsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii*:

$$(EDI) \text{ atau } (EWI) = \frac{C \times C \text{ cons}}{Bw}$$

Keterangan:

- C = kandungan logam berat dalam rumput laut (ppm/berat kering)
- C Cons = konsumsi rumput laut rata-rata harian atau mingguan nasional
- Bw = mewakili berat badan (anak-anak = 15 kg; dewasa = 50 kg)

Nilai Bahaya Target atau Target Hazard Quotients (THQ)

Target hazard quotient (THQ) adalah rasio paparan elemen berbahaya dengan dosis referensi, yang merupakan tingkat tertinggi di mana tidak ada dampak yang diamati setelah menelan komponen makanan (Ain et al., 2023). THQ dihitung menggunakan pendekatan United States Environmental Protection Agency (US-EPA) menggunakan persamaan berikut:

$$THQ = \frac{EF \times ED \times FIR \times C}{RfD \times W \times ATn} \times 10^{-3}$$

Keterangan:

- ED = durasi paparan (71,5 tahun) setara dengan rata-rata umur di Indonesia
- FIR = tingkat konsumsi makanan (dalam gram per orang per hari)
- EF = frekuensi paparan (365 hari/tahun)
- C = konsentrasi logam dalam makanan (ppm)
- RfD = dosis referensi oral masing-masing logam berat (ppm/hari)
- W = rata – rata berat badan di Indonesia (anak-anak = 15 kg; dewasa = 50 kg)
- ATn = waktu paparan rata – rata untuk non karsinogen (365 hari/tahun yaitu jumlah tahun paparan dengan asumsi 71,5 tahun dalam penelitian ini disesuaikan dengan masa hidup)

Target Cancer Risk (TCR) untuk logam Arsenik

Risiko kanker target (TCR) digunakan untuk menilai potensi terjadinya risiko yang terkait dengan paparan agen karsinogenik selama periode paparan seumur hidup terhadap arsenik logam (Antoine et al., 2017). Persamaan untuk TCR arsenik (USEPA, 1997) adalah sebagai berikut:

$$TCR = \frac{E_{FR} \times E_D \times F_{IR} \times C \times CPS_o}{BWa \times ATc} \times 10^{-3}$$

Keterangan:

- E_D = durasi paparan (71,5 tahun) setara dengan rata-rata umur di Indonesia
- F_{IR} = tingkat konsumsi makanan laut termasuk rumput laut di Indonesia dalam gram/hari
- E_{FR} = frekuensi paparan arsenik (365 hari)
- C = konsentrasi arsenik dalam rumput laut kering berat badan
- CPS_o = faktor kemiringan untuk kanker mulut untuk arsenik anorganik (1,5 ppm/hari)

- Bwa = berat badan referensi
- AT_C = periode rata-rata paparan karsinogen (365 hari 71,5 tahun)

Analisis data

Perhitungan rata-rata dan standar deviasi replikasi data kandungan logam berat dalam sampel rumput laut *Eucheuma cottonii* menggunakan *software* Microsoft office Excel 2019. Grafik diproses menggunakan *software* Microsoft office Excel 2019 dan GraphPad Versi 8.0. Tabulasi data EDI, EWI, THQ, dan TCR untuk logam arsenik (As) menggunakan *software* Microsoft office Excel 2019 (Wasilah et al., 2021).

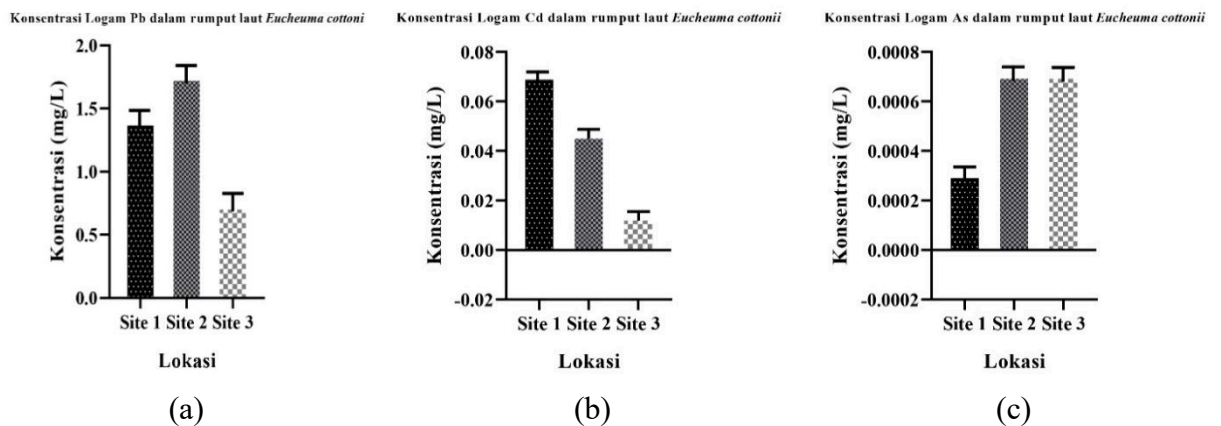
HASIL

Konsentrasi logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii*

Berdasarkan analisis terhadap kandungan logam berat (timbal, kadmium dan arsen) dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* di kawasan budidaya rumput laut Nusa Lembongan menunjukkan hasil yang cukup bervariasi dan ditampilkan dalam Tabel 1 dan Gambar 3. Konsentrasi logam Pb tertinggi ditemukan pada Site 2 dengan konsentrasi 1,7407±0,0934 ppm, konsentrasi Cd tertinggi ditemukan pada Site 1 sebesar 0,0697±0,0061 ppm dan arsen (As) pada Site 2 dan 3 memiliki konsentrasi yang sama yaitu 0,0007±0,0006 ppm. Semua konsentrasi yang ditampilkan dalam sampel dilaporkan sebagai berat kering.

Tabel 1. Konsentrasi logam berat timbal, kadmium dan arsen dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* di Kawasan budidaya rumput laut di Nusa lembongan

Logam Berat	Lokasi		
	Site 1 (ppm)	Site 2 (ppm)	Site 3 (ppm)
Timbal (Pb)	1,3860 ± 0,1129	1,7407 ± 0,0934	0,7207 ± 0,1735
Kadmium (Cd)	0,0697 ± 0,0061	0,0460 ± 0,0046	0,0130 ± 0,0030
Arsen (As)	0,0003 ± 0,0006	0,0007 ± 0,0006	0,0007 ± 0,0006



Gambar 3. Rata-rata konsentrasi logam berat Timbal (a), Kadmium (b) dan Arsen (c) dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* di Nusa Lembongan

Analisa resiko kesehatan pada manusia

Perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI)

Hasil analisis untuk perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI) dalam penelitian ini ditampilkan dalam Tabel 2. Nilai EDI dan EWI dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* tertinggi ditunjukkan oleh logam timbal (Pb) dengan nilai EDI untuk orang dewasa sebesar 0,2191 mg/kg bw/hari dan EWI

sebesar 1,5336 mg/kg bb/minggu, sedangkan untuk anak-anak nilai EDI logam Pb sebesar 0,7303 mg/kg bb/hari dan EWI 5,1119 mg/kg bb/minggu. Nilai EDI dan EWI terendah terdapat pada logam arsen (As) dengan nilai EDI untuk dewasa 0,0001 mg/kg bb/hari dan anak-anak 0,0004 mg/kg bb/hari, sedangkan nilai EWI untuk dewasa 0,0008 mg/kg bb/minggu dan anak-anak 0,0027 mg/kg bb/minggu.

Tabel 2. Perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI) logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii*

Logam Berat	EDI (Estimated Daily Intake)		EWI (Estimated Weekly Intake)	
	Dewasa (mg/kg bb/hari)	Anak-anak (mg/kg bb/hari)	Dewasa (mg/kg bb/minggu)	Anak-anak (mg/kg bb/minggu)
Timbal (Pb)	0,2191	0,7303	1,5336	5,1119
Kadmium (Cd)	0,0073	0,0245	0,0514	0,1714
Arsen (As)	0,0001	0,0004	0,0008	0,0027

Target Hazard Quotients (THQ)

Hasil analisis dalam penelitian ini (Tabel 3) menunjukkan nilai THQ logam berat tertinggi ditunjukkan pada logam berat Pb populasi anak-anak dengan nilai THQ sebesar 0,00762 mg/kg/hari. Sedangkan nilai THQ terendah ditunjukkan pada logam As populasi dewasa sebesar 0,00001 mg/kg/hari. Total THQ keseluruhan untuk logam berat memiliki nilai sebesar 0,01226 mg/kg/hari.

Tabel 3. Nilai THQ logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottoni* di Nusa Lembongan

Logam Berat	Populasi	THQ (Target Hazard Quotients) (mg/kg/hari)
Timbal (Pb)	Dewasa	0,00228
	Anak-anak	0,00762
Kadmium (Cd)	Dewasa	0,00054
	Anak-anak	0,00179
Arsen (As)	Dewasa	0,00001
	Anak-anak	0,00002
Total THQ (TTHQ)		0,01226

Target Cancer Risk (TCR) untuk logam arsenik

Nilai TCR logam As dalam rumput laut *Eucheuma cottoni* ditampilkan dalam Tabel 4, dimana TCR untuk populasi dewasa sebesar $1,71 \times 10^{-6}$ dan untuk anak-anak $5,69 \times 10^{-6}$.

Tabel 4. Nilai TCR untuk logam arsenik dalam rumput laut *Eucheuma cottoni* di wilayah perairan budidaya rumput laut Nusa Lembongan

Populasi	TCR (Target Cancer Risk)
Dewasa	$1,71 \times 10^{-6}$
Anak-anak	$5,69 \times 10^{-6}$

PEMBAHASAN

Konsentrasi logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii*

Akumulasi konsentrasi logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* di kawasan budidaya rumput laut Nusa Lembongan masih berada dibawah baku mutu Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Herbal yang ditetapkan dalam Peraturan BPOM 32 Tahun 2019 yaitu logam Cd ($\leq 0,3$ ppm), logam Pb (≤ 10 ppm), dan logam As (≤ 5 ppm). Kandungan logam berat dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran signifikan mengenai tantangan pengembangan dan pemanfaatan rumput laut *Eucheuma cottonii* yang terdapat di kawasan budidaya rumput laut Nusa Lembongan sebagai bahan baku kosmetik dan farmasi, khususnya sebagai bahan baku obat herbal di masa mendatang (Permatasari et al., 2024). Logam berat dapat digunakan sebagai faktor pembatas karena mempunyai fungsi penting dalam fisiologi tanaman termasuk dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* sebagai sumber unsur hara mikro namun jika konsentrasinya melebihi ambang batas toleransi akan menjadi berbahaya (Lentini et al., 2018). Logam berat timbal (Pb), kadmium (Cd) dan (arsen) As yang terdapat dalam badan air khususnya yang terakumulasi dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* dalam penelitian ini diduga berasal dari limbah domestik, keberadaan hotel disekitar kawasan budidaya rumput laut Nusa Lembongan serta aktivitas perahu nelayan dan transportasi wisatawan yang berkunjung ke Nusa Lembongan mengingat daerah ini merupakan salah satu destinasi wisata unggulan pariwisata di Provinsi Bali. Menurut laporan dari Tayeb et al., (2015) mengemukakan lingkungan laut terutama muara atau pesisir lebih rentan terhadap pencemaran logam berat dari berbagai sumber seperti: limbah rumah tangga dan pariwisata (Zn, Cu, Cd, Ni, dan Pb), limbah pertanian yang menggunakan pestisida sintetik secara tidak bertanggung jawab dan limbah aktivitas industri (Hg, As, seng, dan hidrokarbon).

Penelitian mengenai kandungan logam berat Pb, Cd, dan As juga telah dilakukan terhadap tiga jenis rumput laut coklat yaitu *Sargassum aquifolium*, *Padina australis* dan *Turbinaria ornata* yang dikoleksi dari perairan Pantai Sanur (Rosiana et al., 2022). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat Pb, Cd dan As masih berada dibawah baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan BPOM 32 Tahun 2019 tentang Persyaratan Keamanan dan Mutu Obat Herbal. Pada perairan Pamekasan dan Sumenep – Madura, diketahui kandungan logam berat cadmium (Cd) yang terdapat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* dikisaran 0.0182 - 0.1314 ppm dan hasil tersebut tidak melebihi baku mutu yang ditetapkan pemerintah daerah setempat (Arief et al., 2014). Studi kasus Analisa kandungan logam berat timbal, kadmium, dan arsen di Perairan laut Wongsorejo – Banyuwangi menunjukkan hasil akumulasi logam berat timbal, kadmium dan arsen berada di bawah baku mutu dan dalam kondisi yang tidak membahayakan serta Indeks Faktor Kontaminasi (CFI) dan Faktor Biokonsentrasi (BCF) di perairan tersebut terdapat tingkat kontaminasi dan akumulasi logam berat yang rendah (Andriyono et al., 2022). Selain itu, kemampuan penyerapan dari rumput laut *Eucheuma cottonii* terhadap logam timbal juga telah diteliti dan menunjukkan hasil rumput laut *Eucheuma cottonii* mampu menyerap logam timbal yang berada dalam air laut sampai pada konsentrasi 0,2 ppm (Mayori et al., 2020).

Analisa resiko kesehatan pada manusia

Perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI)

Hasil analisis untuk perkiraan asupan harian (EDI) dan mingguan (EWI) dalam penelitian ini ditampilkan dalam Tabel 2. Nilai EDI dan EWI dalam

penelitian ini merujuk pada neraca pangan yang dikeluarkan oleh *Food and Agriculture Organization* (FAO). Hasil perhitungan EDI dalam penelitian ini menunjukkan asupan logam berat harian (Pb, Cd dan As) tergolong cukup tinggi. Hal ini dikarenakan nilai EDI dari masing-masing logam lebih besar dari nilai dosis referensi (RfD) dari logam berat tersebut, sehingga asupan dari konsumsi logam berat tersebut memiliki resiko berdampak buruk bagi kesehatan (Tongprung et al., 2024). Ini dapat terjadi karena dimasukkannya berbagai kriteria dalam penilaian EDI dan EWI dapat mengakibatkan perkiraan yang berlebihan dalam mengukur risiko non-karsinogenik yang disebabkan oleh konsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii* seperti dalam penelitian. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian tambahan guna memahami potensi faktor non-karsinogenik yang mungkin timbul akibat mengonsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii* ini.

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, asupan logam berat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* yang diteliti dapat digunakan sebagai nilai rujukan bagi produsen maupun konsumen serta otoritas terkait yang akan mengolah rumput laut *Eucheuma cottonii* sebagai bahan baku herbal baik itu kosmetik maupun obat-obatan. Hal ini dapat dikaitkan oleh karena rumput laut dapat dijadikan sebagai salah satu komponen penting dalam bahan baku makanan tambahan (Leandro et al., 2020) dan juga dapat digunakan sebagai bioindikator dalam perairan (Hasselström et al., 2018). Peningkatan nilai informasi terkait dengan perkiraan asupan harian suatu jenis bahan makanan dari perairan umum terjadi karena akumulasi logam berat dalam rantai makanan yang disebabkan oleh aktivitas manusia (Liu et al., 2022; Osae et al., 2023).

Target Hazard Quotients (THQ)

THQ merupakan estimasi tingkat resiko yang tidak menimbulkan efek kanker akibat paparan polutan (Adegbola et al., 2021). Hasil analisis dalam penelitian ini (Tabel 3) menunjukkan bahwa resiko kesehatan non-karsinogenik yang mungkin muncul terhadap masyarakat akibat mengonsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii* dianggap rendah karena nilainya kurang dari 1 untuk setiap logam berat (Javed dan Usmani, 2016). Tubuh manusia masih dianggap mampu mentoleransi logam berat yang terkandung dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* yang masuk melalui oral yang selanjutnya logam berat tersebut dikeluarkan dari tubuh melalui urin dan saluran pencernaan sehingga tidak menyebar ke seluruh tubuh melalui peredaran darah (Fu & Xi, 2020). Nilai Total THQ (TTHQ) dalam penelitian ini sebesar 0,01226 mg/kg/hari (<1), yang juga menunjukkan tidak ada bahaya atau resiko kesehatan dari mengonsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii* yang mengandung ketiga logam berat yang diuji

Target Cancer Risk (TCR) untuk logam arsenik

Dalam penelitian ini hanya unsur arsen (As) saja yang diukur atau ditentukan tingkat resiko kankernya karena dapat menyebabkan risiko kanker mulut yang telah ditetapkan oleh U.S. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini penting untuk diketahui karena konsumsi bahan makanan yang terkontaminasi logam berat seperti As dalam jangka panjang semasa hidup setiap hari dapat dianggap menimbulkan efek karsinogenik. Menurut U.S. EPA, jika nilai TCR antara 10^{-6} sampai 10^{-4} dianggap dapat diterima, kurang dari 10^{-6} dapat diabaikan dan nilainya lebih dari 10^{-4} maka tidak dapat diterima (Hussain et al., 2021). Logam arsen yang terdapat dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* dalam penelitian ini menunjukkan nilai $1,71 \times 10^{-6}$ untuk populasi dewasa dan $5,69 \times 10^{-6}$ untuk anak-anak sehingga dianggap tidak menimbulkan bahaya bagi

kesehatan manusia. Namun perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap efek karsinogenik secara in-vivo (Shaheen et al., 2016).

SIMPULAN

Kandungan logam berat Pb, Cd, dan As dalam rumput laut *Eucheuma cottonii* yang diuji dalam penelitian ini masih dalam batas aman dan diperbolehkan menurut peraturan BPOM Nomor 32 tahun 2019 tentang Kriteria Keamanan dan Mutu Obat Herbal. Untuk analisis resiko kesehatan pada manusia yaitu nilai EDI, EWI, dan THQ pada logam berat (Pb, Cd, As) menunjukkan tidak adanya risiko kesehatan yang membahayakan jika mengkonsumsi rumput laut *Eucheuma cottonii* ini karena tidak menunjukkan karsinogenitas. Informasi lebih lanjut diperlukan untuk mengkonfirmasi hasil penelitian ini dimana nilai TCR khusus untuk logam arsen pada penelitian ini menunjukkan tingkat risiko kanker yang masih dapat ditoleransi.

Penelitian yang dilakukan dimasa mendatang perlu dilakukan lebih komperhensif untuk meneliti kandungan pencemar dan pengaruhnya terhadap lingkungan terhadap berbagai spesies rumput laut baik yang dibudidayakan ataupun tidak di wilayah perairan Provinsi Bali. Hal ini penting karena rumput laut merupakan sumber daya hayati dengan nilai kualitas tinggi di berbagai bidang termasuk industri kosmetik, bidang farmasi, dan industri pangan serta situasi perairan Bali yang dimanfaatkan sebagai industri pariwisata memungkinkan terjadinya peningkatan paparan antropogenik di wilayah perairan pesisir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRTPM), Ditjen Dikti, Kemenristek Dikti karena telah mendanai penelitian ini dalam Hibah Dosen Pemula Tahun Anggaran 2023 serta ucapan terimakasih kepada LPPM dan Universitas Dhyana Pura atas segala support dan dukungannya.

KEPUSTAKAAN

- Adebola IP, Aborisade BA, Adetutu A. 2021. Health risk assessment and heavy metal accumulation in fish species (*Clarias gariepinus* and *Sarotherodon melanotheron*) from industrially polluted Ogun and Eleyele Rivers, Nigeria. *Toxicology Reports* **8**: 1445–1460. DOI: 10.1016/j.toxrep.2021.07.007
- Ain SNU, Abbasi AM, Ajab H, Faridullah, Khan S, Yaqub A. 2023. Assessment of arsenic in *Mangifera Indica* (Mango) contaminated by artificial ripening agent: Target hazard quotient (THQ), health risk index (HRI) and estimated daily intake (EDI). *Food Chemistry Advances* **3**: 100468. DOI: 10.1016/j.focha.2023.100468
- Andréfouët S, Dewantama IMI, Ampou EE. 2021. Seaweed farming collapse and fast changing socio-ecosystems exacerbated by tourism and natural hazards in Indonesia: A view from space and from the households of Nusa Lembongan island. *Ocean & Coastal Management* **207**: 105586. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105586
- Andriyono S, Bayu AS, Suciyono S. 2022. Analisis Kandungan Logam Berat (Pb, Cd dan As) pada Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) (Studi Kasus: Perairan Laut Wongsorejo, Banyuwangi). *Grouper* **13(2)**: 168–176. DOI: 10.30736/grouper.v13i2.128
- Antoine JMR, Fung LAH, Grant CN. 2017. Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports* **4**: 181–187. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.03.006
- Arief M, Setiabudi D, Rahardja BS. 2014. Analysis of Heavy Metal Concentration Difference Value on Cadmium (Cd) Against Seaweed (*Eucheuma cottonii*) in Pamekasan and Sumenep Seashore - Madura. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* **6(2)**: 201–206. DOI: 10.20473/jipk.v6i2.11309

- Arumugam N, Chelliapan S, Kamyab H, Thirugnana S, Othman N, Nasri NS. 2018. Treatment of Wastewater Using Seaweed: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **15**(12): 2851. DOI: 10.3390/ijerph15122851
- Cahill PL, Hurd CL, Lokman M. 2010. Keeping the water clean — Seaweed biofiltration outperforms traditional bacterial biofilms in recirculating aquaculture. *Aquaculture* **306**(1–4): 153–159. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.05.032
- Chen Q, Pan X-D, Huang B-F, Han J-L. 2018. Distribution of metals and metalloids in dried seaweeds and health risk to population in southeastern China. *Scientific Reports* **8**(1): 3578. DOI: 10.1038/s41598-018-21732-z
- Circuncisão A, Catarino M, Cardoso S, Silva A. 2018. Minerals from Macroalgae Origin: Health Benefits and Risks for Consumers. *Marine Drugs* **16**(11): 400. DOI: 10.3390/md16110400
- El-Beltagi HS, Mohamed AA, Mohamed HI, Ramadan KMA, Barqawi AA, Mansour AT. 2022. Phytochemical and Potential Properties of Seaweeds and Their Recent Applications: A Review. *Marine Drugs* **20**(6): 342. DOI: 10.3390/md20060342
- Fu Z, Xi S. 2020. The effects of heavy metals on human metabolism. *Toxicology Mechanisms and Methods* **30**(3): 167–176. DOI: 10.1080/15376516.2019.1701594
- Hasselström L, Visch W, Gröndahl F, Nylund GM, Pavia H. 2018. The impact of seaweed cultivation on ecosystem services - a case study from the west coast of Sweden. *Marine Pollution Bulletin* **133**: 53–64. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.005
- Hussain N, Shafiq ahmed K, Asmatullah, shafiq Ahmed M, Makhdoom Hussain S, Javid A. 2021. Potential health risks assessment cognate with selected heavy metals contents in some vegetables grown with four different irrigation sources near Lahore, Pakistan. *Saudi Journal of Biological Sciences*. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.10.043
- Hwang EK, Yotsukura N, Pang SJ, Su L, Shan TF. 2019. Seaweed breeding programs and progress in eastern Asian countries. *Phycologia* **58**(5): 484–495. DOI: 10.1080/00318884.2019.1639436
- Khaled A, Hessein A, Abdel-Halim AM, Morsy FM. 2014. Distribution of heavy metals in seaweeds collected along Marsa-Matrouh beaches, Egyptian Mediterranean Sea. *The Egyptian Journal of Aquatic Research* **40**(4): 363–371. DOI: 10.1016/j.ejar.2014.11.007
- Khan N, Sudhakar K, Mamat R. 2024. Macroalgae farming for sustainable future: Navigating opportunities and driving innovation. *Heliyon* **10**(7): e28208. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e28208
- Leandro A, Pacheco D, Cotas J, Marques JC, Pereira L, Gonçalves AMM. 2020. Seaweed's Bioactive Candidate Compounds to Food Industry and Global Food Security. *Life* **10**(8): 140. DOI: 10.3390/life10080140
- Lentini M, De Lillo A, Paradisone V, Liberti D, Landi S, Esposito S. 2018. Early responses to cadmium exposure in barley plants: effects on biometric and physiological parameters. *Acta Physiologiae Plantarum* **40**(10): 178. DOI: 10.1007/s11738-018-2752-2
- Liu B, Lv L, An M, Wang T, Li M, Yu Y. 2022. Heavy metals in marine food web from Laizhou Bay, China: Levels, trophic magnification, and health risk assessment. *Science of The Total Environment* **841**: 156818. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.156818
- Malau R, Azizah R, Susanto A, Santosa GW, Irwani I. 2018. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air, Sedimen, Dan Rumput Laut Sargassum sp. Di Perairan Teluk Awur, Jepara. *Jurnal Kelautan Tropis* **21**(2): 155. DOI: 10.14710/jkt.v21i2.3010
- Mayori DVA, Rahardja BS, Suciyo S, Lutfiyah L. 2020. Kombinasi rumput laut (*Euचेuma cottonii*) dan kerang hijau (*Perna viridis*) sebagai biofilter logam berat timbal (Pb). *Depik* **9**(2): 151–155. DOI: 10.13170/depik.9.2.15762
- Mitra S, Chakraborty AJ, Tareq AM, Emran T Bin, Nainu F, Khusro A, Idris AM, Khandaker MU, Osman H, Alhumaydhi FA, Simal-Gandara J. 2022. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science* **34**(3): 101865. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.101865
- Muñoz O, Zamorano P, Garcia O, Bastías JM. 2017. Arsenic, cadmium, mercury, sodium, and potassium concentrations in common foods and estimated daily intake of the population in Valdivia (Chile) using a total diet study. *Food and Chemical Toxicology* **109**: 1125–1134. DOI: 10.1016/j.fct.2017.03.027
- Nashrullah MF, Susanto AB, Pratikto I, Yati E. 2021. Analisis Kesesuaian Lahan Budidaya Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* (Doty) menggunakan Citra Satelit Di Perairan Pulau Nusa Lembongan, Bali. *Journal of Marine Research* **10**(3): 345–354. DOI: 10.14710/jmr.v10i3.30507
- Nurani W, Anwar Y, Batubara I, Arung ET, Fatriasari W. 2024. *Kappaphycus alvarezii* as a renewable source of kappa-carrageenan and other cosmetic ingredients. *International*

- Journal of Biological Macromolecules* **260**: 129458. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129458
- Oktariani AF, Sudaryatma PE, Ramona Y, Wirasuta IMG, Darmayasa IBG, Wiradana PA, Okabayashi T. 2023. Heavy metals content in fresh tuna and swordfish caught from Hindian and Pacific Oceans: Health risk assessment of dietary exposure. *Veterinary World* **858–868**. DOI: 10.14202/vetworld.2023.858-868
- Osae R, Nukpezah D, Darko DA, Koranteng SS, Mensah A. 2023. Accumulation of heavy metals and human health risk assessment of vegetable consumption from a farm within the Korle lagoon catchment. *Heliyon* **9(5)**: e16005. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16005
- Parus A, Karbowska B. 2020. Marine Algae as Natural Indicator of Environmental Cleanliness. *Water, Air, & Soil Pollution* **231(3)**: 97. DOI: 10.1007/s11270-020-4434-0
- Permatasari AAAP, Wiradana PA, Sari NKY, Widhiantara IG, Rosiana IW, Sandhika IMGS, Sucipto TH, Dewi NSP. 2024. Antioxidant capacity, cytotoxicity, and bacterial contamination of brown macroalgae simplicia. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* **27(10)**
- Rimmer MA, Larson S, Lapong I, Purnomo AH, Pong-Masak PR, Swanepoel L, Paul NA. 2021. Seaweed Aquaculture in Indonesia Contributes to Social and Economic Aspects of Livelihoods and Community Wellbeing. *Sustainability* **13(19)**: 10946. DOI: 10.3390/su131910946
- Rosiana IW, Wiradana PA, Permatasari AAAP, Pelupessy YAEG, Dame MVO, Soegianto A, Yulianto B, Widhiantara IG. 2022. Concentrations of Heavy Metals in Three Brown Seaweed (Phaeophyta: Phaeophyceae) Collected from Tourism Area in Sanur Beach, Coast of Denpasar, Bali and Public Health Risk Assessment. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan* **14(2)**: 327–339. DOI: 10.20473/jipk.v14i2.33103
- Sandhika IMGS, Wiradana PA, Widhiantara IG, Rosiana IW, Permatasari AAAP, Sari NKY, Hamu EM, Soegianto A, Yulianto B. 2023. Assessment of Brown Algae (Phaeophyceae) and Sediment Collected from Sanur Coastal Waters Based on Bioaccumulation Factors and Human Health Risks Related to Microplastic Ingestion Exposure. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada* **25(2)**: 163. DOI: 10.22146/jfs.84978
- Shafie MH, Kamal ML, Zulkiflee FF, Hasan S, Uyup NH, Abdullah S, Mohamed Hussin NA, Tan YC, Zafarina Z. 2022. Application of Carrageenan extract from red seaweed (Rhodophyta) in cosmetic products: A review. *Journal of the Indian Chemical Society* **99(9)**: 100613. DOI: 10.1016/j.jics.2022.100613
- Shaheen N, Ahmed MK, Islam MS, Habibullah-Al-Mamun M, Tukun AB, Islam S, M.A. Rahim AT. 2016. Health risk assessment of trace elements via dietary intake of ‘non-piscine protein source’ foodstuffs (meat, milk and egg) in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research* **23(8)**: 7794–7806. DOI: 10.1007/s11356-015-6013-2
- Tayeb A, Chellali MR, Hamou A, Debbah S. 2015. Impact of urban and industrial effluents on the coastal marine environment in Oran, Algeria. *Marine Pollution Bulletin* **98(1–2)**: 281–288. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.07.013
- Tongprung S, Wibuloutai J, Dechakhamphu A, Samaneein K. 2024. Health risk assessment associated with consumption of heavy metal-contaminated vegetables: A case study in the southern area of Northeast Thailand. *Environmental Challenges* **14**: 100845. DOI: 10.1016/j.envc.2024.100845
- USEPA. 1997. *Exposure Factors Handbook*. Washington DC
- Wardani G, Farida N, Andayani R, Kuntoro M, Sudjarwo S. 2017. The potency of red seaweed (*Euclima cottonii*) extracts as hepatoprotector on lead acetate-induced hepatotoxicity in mice. *Pharmacognosy Research* **9(3)**: 282. DOI: 10.4103/pr.pr_69_16
- Waruwu D, R. Tri Priyono Budi Santoso, I Made Gde Sudyadnyana Sandhika. 2022. The Management of Seaweed Cultivation as an Educational Tourism Destination in Lembongan Village, Klungkung Regency, Bali. *Santhet (Jurnal Sejarah Pendidikan Dan Humaniora)* **6(2)**: 117–128. DOI: 10.36526/santhet.v6i2.2168
- Wasilah QA, Mawli RE, Sani MD, Soegianto A, Wiradana PA, Pradisty NA. 2021. Determination of Lead and Cadmium in Edible Wedge Clam (*Donax faba*) Collected from North and South Coasts of Sumenep, East Java, Indonesia. *Poll Res* **40(2)**: 593–597
- Watiniasih NL, Budiarsa IN, Antara ING, Wiradana PA. 2022. Propolis extract as a green bacterial corrosion inhibitor on three types of metals. *Biodiversitas* **23(9)**: 4852–4860. DOI: 10.13057/biodiv/d230954
- Wu G, Zhuang D, Chew KW, Ling TC, Khoo KS, Van Quyen D, Feng S, Show PL. 2022. Current Status and Future Trends in Removal, Control, and Mitigation of Algae Food Safety Risks for Human Consumption. *Molecules* **27(19)**: 6633. DOI: 10.3390/molecules27196633